

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ



УДК 621.3.066:621.3

DOI:10.30724/1998-9903-2022-24-5-61-73

АНАЛИЗ ПАРКА И ОЦЕНКА КОММУТАЦИОННОГО РЕСУРСА ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ 10 кВ ФИЛИАЛА ПАО «РОССЕТИ ЦЕНТР»-«ОРЕЛЭНЕРГО»

Виноградов ¹А.В., Лансберг ²А.А.

¹ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Россия

²Филиал ПАО «Россети Центр»-«Орелэнерго», г. Орел, Россия

winaleksandr@gmail.com

Резюме: *ЦЕЛЬ.* Анализ парка и оценка коммутационного ресурса выключателей 10 кВ филиала ПАО «Россети Центр»-«Орелэнерго». *МЕТОДЫ.* В работе на основе базы данных филиала ПАО «Россети Центр»-«Орелэнерго» был произведен анализ парка высоковольтных выключателей 10 кВ, выявлены типы применяемых выключателей, их доли в составе парка выключателей. Исследован парк выключателей по техническим характеристикам, в том числе номинальным токам и токам предельной отключающей способности в соответствии с ГОСТ Р 52565-2006 и ГОСТ 687-78, а также действующими стандартами технической организации ПАО «Россети». *РЕЗУЛЬТАТЫ.* В ходе исследования было выявлено, что парк выключателей 10 кВ, установленных в распределительных устройствах подстанций с высшим напряжением 35-110 кВ филиала ПАО «Россети Центр»-«Орелэнерго» представлен 1833 коммутационными аппаратами, среди которых: 1197 выключателей с маломасляными дугогасительными камерами, 636 выключателей – с вакуумными, что составляет, соответственно 65% и 35% парка. При этом 1009 коммутационных аппаратов имеют номинальный ток 630 А, а 366 коммутационных аппаратов – 1000 А, 1526 единиц оборудования имеет номинальный ток отключения 20 кА. Выполнено сравнение маломасляного выключателя типа ВМП и вакуумного выключателя ВВВ с современным вакуумным выключателем серии ВВ/TEL с точки зрения коммутационного ресурса с целью обоснования его применения для замены указанных выключателей на конкретных линиях электропередачи. *ВЫВОДЫ.* Выявление параметров парка выключателей 10 кВ позволяет разрабатывать рациональные планы по замене оборудования. Анализ коммутационного ресурса разных типов выключателей позволяет выбрать оборудование с лучшими характеристиками.

Ключевые слова: парк выключателей 10 кВ; высоковольтный выключатель; коммутационный ресурс; отключающая способность.

Для цитирования: Виноградов А.В., Лансберг А.А. Анализ парка и оценка коммутационного ресурса выключателей 10 кВ филиала ПАО «Россети центр»-«Орелэнерго» // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2022. Т.24. № 5. С. 61-73. doi:10.30724/1998-9903-2022-24-5-61-73.

ANALYSIS OF THE FLEET AND EVALUATION OF THE SWITCHING RESOURCE OF 10 kV SWITCHES OF THE BRANCH OF PJSC «ROSSETI CENTER»- «ORELENERGO»

Vinogradov ¹A.V., Lansberg ²A.A.

¹FGBNU «Federal Scientific Agroengineering Center VIM», Moscow, Russia

²Filial PJSC «Rosseti Center»-«Orelenergo», Orel, Russia
winaleksandr@gmail.com

Abstract: *THE PURPOSE.* Analysis of the fleet and evaluation of the switching resource of 10 kV switches of the branch of PJSC «Rosseti Center»-«Orelenergo». *METHODS.* In the work, based on the database of the branch of PJSC «Rosseti Center»-«Orelenergo», an analysis of the fleet of 10 kV high-voltage switches was carried out, the types of switches used, their shares in the fleet of switches were identified. The park of circuit breakers was investigated according to technical characteristics, including rated currents and currents of maximum breaking capacity in accordance with GOST R 52565-2006 and GOST 687-78, as well as the current standards of the technical organization of PJSC «Rosseti». *RESULTS.* In the course of the study, it was revealed that the fleet of 10 kV switches installed in switchgear substations with a higher voltage of 35-110 kV of the branch of PJSC «Rosseti Center»-«Orelenergo» is represented by 1833 switching devices, among which: 1197 switches with low-oil arc extinguishing chambers, 636 switches with vacuum, which is, respectively, 65% and 35% of the park. At the same time, 1009 switching devices have a rated current of 630 A, and 366 switching devices – 1000 A, 1526 pieces of equipment have a rated cut-off current of 20 kA. A comparison of a low-oil switch of the VMP type and a vacuum switch BBB with a modern vacuum switch of the BB/TEL series from the point of view of the switching resource in order to justify its use to replace these switches on specific power lines. *CONCLUSIONS.* Identification of the parameters of the 10 kV circuit breaker fleet makes it possible to develop rational plans for equipment replacement. Analysis of the switching resource of different types of switches allows you to choose equipment with the best characteristics.

Keywords: 10 kV switch park; high-voltage switch; switching resource; breaking capacity.

For citation: Vinogradov AV, Lansberg AA. Analysis of the fleet and evaluation of the switching resource of 10 kv switches of the branch of pjsc «Rosseti Center»-«Orelenergo». *Power engineering: research, equipment, technology.* 2022;24(5):61-73. doi:10.30724/1998-9903-2022-24-5-61-73.

Введение (Introduction)

Надёжность систем электроснабжения зависит от надёжности применяемого в их составе оборудования. Среди общего парка электрооборудования значительную долю занимают коммутационные аппараты, преимущественно высоковольтные выключатели. Они используются для оперативного управления режимами работы энергосистемы и выполнения переключений, коммутации рабочих токов, отключения токов коротких замыканий с целью своевременного устранения аварийных режимов и недопущения выхода из строя электрооборудования, нарушения устойчивости энергосистемы и предотвращения массового недоотпуска электроэнергии. Персоналом электросетевых организаций реализуется стратегия планово-предупредительного ремонта для поддержания в работоспособном состоянии оборудования, в том числе выключателей, совершенствуются методы контроля технического состояния и диагностирования электрооборудования [1-4]. Оценивается влияние типов применяемых высоковольтных выключателей на функционирование электрических сетей, в том числе на появление коммутационных перенапряжений, также снижающих надёжность систем электроснабжения за счёт воздействия на изоляцию оборудования электрических сетей [5].

Важным направлением эксплуатации высоковольтных выключателей является оценка их коммутационного ресурса. С целью планирования стратегии планово-предупредительного ремонта при эксплуатации парка высоковольтных выключателей необходимо определять остаточный ресурс при коммутации рабочих токов и токов коротких замыканий для каждого выключателя. В работе [6] рассмотрены разные методы оценки расхода коммутационного ресурса на примере высоковольтного выключателя У-110-2000-40: на основе данных завода изготовителя, технической диагностики, показателей надёжности выключателя и вероятности его безотказной работы. Автором сделаны выводы,

что ни один из существующих методов в полной мере не позволяет определить расход коммутационного ресурса выключателя, в связи с чем в настоящее время требуется разработка комплексного метода для оценки технического состояния выключателей и разработки стратегии планово-предупредительных ремонтов.

В работе [7] произведена аналитическая оценка влияния схемных параметров на примере МЭС Центра на коммутационный ресурс современных элегазовых высоковольтных выключателей 110-500 кВ. Так, авторами отмечено, что в МЭС Центра в эксплуатации преимущественно находятся выключатели с номинальными токами отключения 31,5 кА и 40 кА. С учетом статистических сведений авторами было выявлено, что в линии 110 кВ за весь срок эксплуатации в 25 лет выключатель произведёт отключение 42-75 токов КЗ со средним значением 3,5 кА, что не приведёт к расходу его ресурса раньше, чем закончится нормативный срок службы [7].

Разработан способ (патент №2249828) определения коммутационного ресурса выключателя, заключающийся в экспериментальном определении допустимого числа циклов «включение-отключение» при разных токах коммутации. Недостатком способа является то, что он не позволяет при разных токах коммутации оценить расходование коммутационного ресурса выключателя и действующее значение остаточной величины коммутационного ресурса.

Данный вопрос решен в способе (патент №2554635) оценки коммутационного ресурса высоковольтных выключателей в зависимости от величины коммутируемого тока. Так, уменьшение коммутационного ресурса при текущей коммутации протекающего тока можно определить по формуле (1):

$$P_c = \frac{I_t^2}{I_{o\text{ ном}}}, \quad (1)$$

где I_t – действующее значение коммутируемого тока, кА;

$I_{o\text{ ном}}$ – номинальная коммутационная способность выключателя, кА.

Остаточный коммутационный ресурс P_o определяется по формуле (2) как разность между установленным коммутационным ресурсом P_k и полученным значением сработавшего коммутационного ресурса при коммутируемом токе I_t :

$$P_o = P_k - P_c, \quad (2)$$

где P_o – остаточный коммутационный ресурс, о.е.;

P_k – начальное значение коммутационного ресурса, о.е.;

P_c – сработанный коммутационный ресурс при отключении тока I_t , о.е.

На основании разработанного метода в работе [8] была произведена оценка расхода коммутационного ресурса при разных значениях коммутируемого тока для трех типов выключателей: воздушного ВВД-220Б-40/2000, маломасляного ВМТ-220Б-40/2000, элегазового ВЭК-220-40/2000 с предельной отключающей способностью 40 кА. Полученные значения расхода коммутационного ресурса для данных типов выключателей позволили выявить зависимость расхода коммутационного ресурса P_c от тока коммутации I_t .

Как отмечено в работе [9], недостатком существующих методов оценки расхода коммутационного ресурса высоковольтных выключателей является их оценка на моделях, а не действующих электроустановках. В связи с этим была произведена оценка коммутационного ресурса высоковольтного выключателя 110 кВ ЗАР1DT-145/ЕК производства компании «SIEMENS» с отключающей способностью 31,5 кА, установленного на подстанции 110/35/10/6 кВ «Советская», у которой максимальный ток трехфазного КЗ на шинах 110 кВ составляет 13,2 кА [9]. Исходя из предложенной в указанной работе формулы (3), позволяющей определить число допустимое число коммутаций при коммутационной способности P_k и сработавшем ресурсе P_c при токе I_t [9]:

$$n = \frac{P_k}{P_c}, \quad (3)$$

где n – число коммутаций при текущем сработавшем ресурсе P_c и полном коммутационном ресурсе P_k [9].

Исходя из вышеизложенного можно резюмировать, что практическую значимость имеет определение коммутационного ресурса при коммутациях токов различной величины, находящихся в эксплуатации старых высоковольтных выключателей 10 кВ на примере электросетевой организации филиала ПАО «Россети Центр»-«Орелэнерго», с

планированием мероприятий по техперевооружению путем установки современных выключателей с определением их коммутационного ресурса на тех же электроустановках.

Цель работы: выполнить анализ парка и оценку коммутационного ресурса выключателей 10 кВ филиала ПАО «Россети Центр»-«Орелэнерго».

Материалы и методы исследования (Materials and methods)

Для исследования были использованы данные по срокам службы, техническим характеристикам, техническому состоянию высоковольтных выключателей 10 кВ, хранящиеся в базе данных SAP Logon электросетевой организации ПАО «Россети Центр и Приволжье».

Анализ технического состояния электрооборудования осуществлялся в соответствии с диапазонами, указанными в Приказе Министерства энергетики РФ от 26 июля 2017 г. №676 «Об утверждении методики оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей».

Техническое состояние высоковольтных выключателей 10 кВ было определено для каждого выключателя исходя из результатов диагностических исследований, при этом специалистами филиала ПАО «Россети Центр»-«Орелэнерго» не учитывались коммутируемые выключателями токи нормального и аварийных режимов ввиду отсутствия возможности их измерения на каждом объекте, что не позволяет достоверно судить об действующем техническом состоянии выключателей. Данные по техническому состоянию парка выключателей 10 кВ, представленные в данной работе, были получены с учетом результатов местного контроля и диагностики.

Оценка сроков службы парка высоковольтных выключателей 10 кВ филиала ПАО «Россети Центр»-«Орелэнерго» производилась на основании следующих положений. Согласно «ГОСТ Р 52565-2006. Выключатели переменного тока на напряжения от 3 до 750 кВ. Общие технические условия» и «ГОСТ 687-78. Выключатели переменного тока на напряжение свыше 1000 В. Общие технические условия» высоковольтные выключатели изготавливаются на срок службы до 30 лет, при этом срок среднего или капитального ремонта для разных типов выключателей может варьироваться в диапазоне от 8 до 12 лет. Таким образом, анализ срока эксплуатации высоковольтных выключателей, установленных в распределительных устройствах филиала ПАО «Россети Центр»-«Орелэнерго», представим в виде трех диапазонов: срока до первого среднего или капитального ремонта (до 12 лет), от превышающего срок среднего или капитального ремонта до предельно допустимого срока службы (12-30 лет), превышающий допустимый срок службы (более 30 лет).

Анализ технических характеристик выключателей, в частности номинальных токов выключателей $I_{ном}$ и номинальных токов отключения выключателей $I_{о, ном}$ - производился в соответствии со значениями, указанными в ГОСТ Р 52565-2006 и ГОСТ 687-78.

Для сравнения расхода коммутационного ресурса маломасляного и вакуумного выключателей старых серий с вакуумным новой серии были выбраны 2 высоковольтных выключателя 10 кВ: маломасляный типа ВПМ-10-20/630, установленный в 1991 году на отходящем фидере №3 от подстанции 35/10 кВ «Бакланово» в Орловском районе, и вакуумный типа ВВВ-10-4-400, установленный в 1982 году на отходящем фидере №2 от подстанции 10/0,4 кВ от подстанции 35/10 кВ «Росстани» в Ливенском районе. Рассматриваемые выключатели в соответствии со внутренним стандартом ПАО «Россети» «СТО 56947007-29.240.10.248-2017. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС). Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС» необходимо менять на современные вакуумные выключатели, среди которых в настоящее время целесообразно выбрать выключатель производства группы компаний «Таврида Электрик» типа ВВ/TEL-10-1000/20 с номинальной отключающей способностью 20 кА и номинальным током 1000 А [10].

Сведения о технических характеристиках маломасляного и вакуумного выключателей, установленным на подстанциях 35/10 кВ «Бакланово» и 35/10 кВ «Росстани», а также предполагаемого к установке современного вакуумного выключателя ВВ/TEL-10-1000/20 представлены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики выключателей 10 кВ, оцениваемых по расходу коммутационного ресурса

Подстанция	Отходящая линия 10 кВ	Тип выключателя	Конструкция выключателя	$I_{ном}$ А	$I_{отк.}$ А
<i>Действующие выключатели</i>					
35/10 кВ «Росстани»	Фидер №2	Вакуумный	ВВВ	400	4
35/10 кВ «Бакланово»	Фидер №3	Маломасляный	ВПМ	630	20
<i>Предполагаемые к установке выключатели</i>					
35/10 кВ «Росстани», 35/10 кВ «Бакланово»	Фидер №2, Фидер №3	Вакуумный	ВВ/TEL	1000	20

Для расчета расхода коммутационного ресурса выключателей необходимо знать значения токов короткого замыкания в представленных отходящих линиях. В связи с этим были использованы значения токов короткого замыкания на шинах 10 кВ подстанций 35/10 кВ «Бакланово» и 35/10 кВ «Росстани», составляющие 1041 А и 1641 А, рассчитанные персоналом службы релейной защиты филиала ПАО «Россети Центр»-«Орелэнерго». Расчет был произведен по методике, рассмотренной в работе [11] в соответствии со стандартом «ГОСТ Р 52735-2007. Национальный стандарт Российской Федерации. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ. Дата введения 2008-07-01». Результаты расчета представлены на рисунках 1-2.

Расход коммутационного ресурса и оценку допустимых коммутаций целесообразно производить по методике, рассмотренной в работе [9]. При этом следует учитывать следующие положения по коммутационному ресурсу выключателей. Согласно ГОСТ 687-78, старые высоковольтные выключатели допускали для каждого полюса выключателя количество операций отключения (ресурс по коммутационной стойкости) при токах короткого замыкания и при нагрузочных токах, представленное в таблице 2.

Таблица 2

Допустимый коммутационный ресурс для высоковольтных выключателей, выпущенных в соответствии с ГОСТ 678-78.

Виды выключателей	Наименьшее допустимое количество операций отключения при токах в диапазонах 30-60% / 60-100% $I_{о,ном}$ при значениях $I_{о,ном}$, кА				
	До 20	20-31,5	40	50	63
	30-60 / 60-100	30-60 / 60-100	30-60 / 60-100	30-60 / 60-100	30-60 / 60-100
Уровень А					
Воздушные	17 / 10	14 / 8	12 / 7	7 / 4	7 / 4
Маломасляные	12 / 7	9 / 5	7 / 4	7 / 4	7 / 4
Уровень Б					
Виды выключателей	Наименьшее допустимое количество операций отключения при токах в диапазонах 60-100% $I_{о,ном}$ при значениях $I_{о,ном}$, кА				
	До 20	20-31,5	40	50	63
Воздушные	30	25	20	18	10
Маломасляные	20	18	15	10	6
Элегазовые	10	7	6	6	6
Вакуумные	30	25	20	18	10

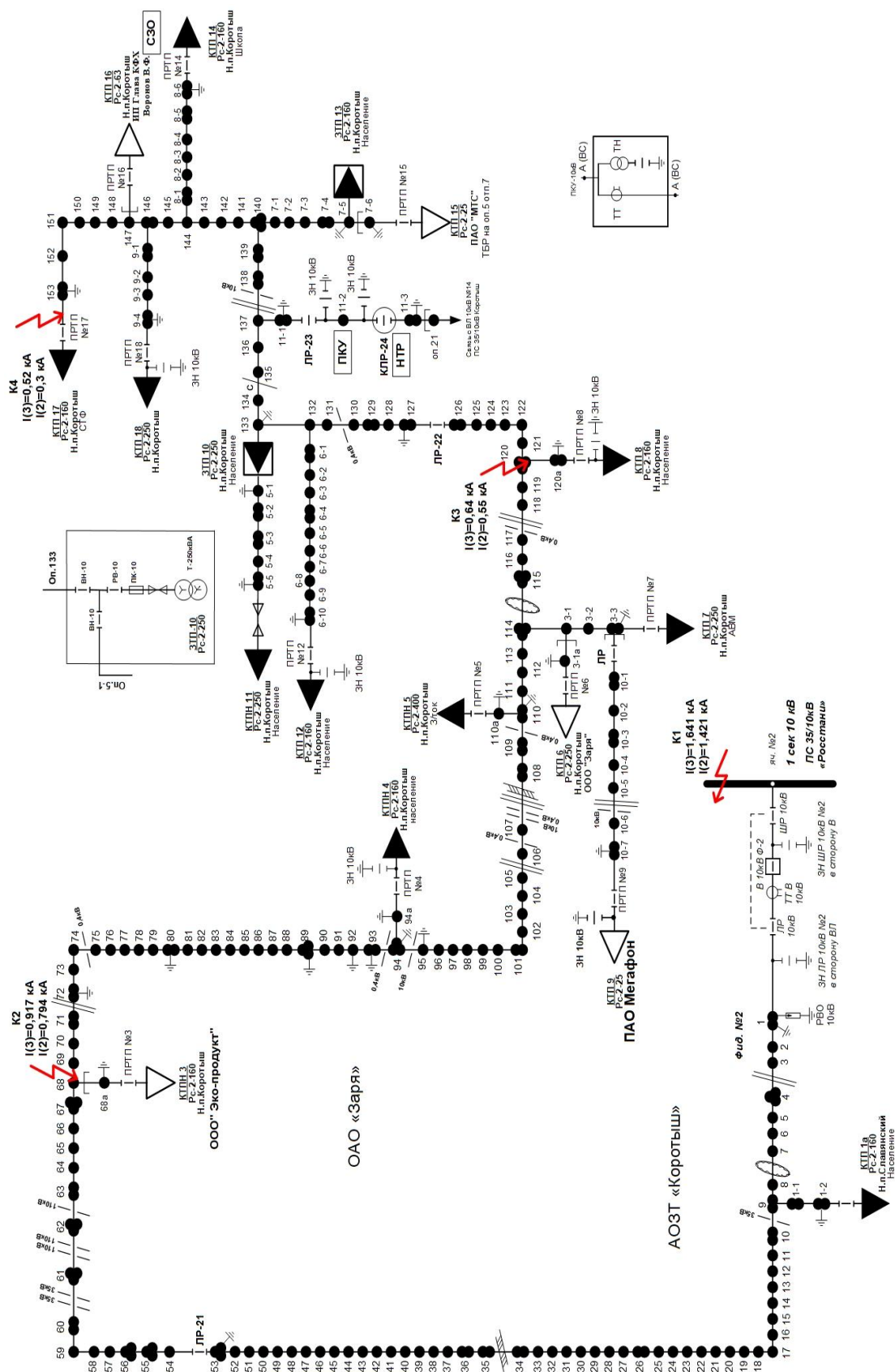


Рис. 1. Схема ВЛ 10 кВ фидер №2 от подстанции 35/10 кВ «Росстани».

Fig. 1. Scheme of 10 kV feeder 2 overhead power line from 35/10 kV substation «Rosstani».

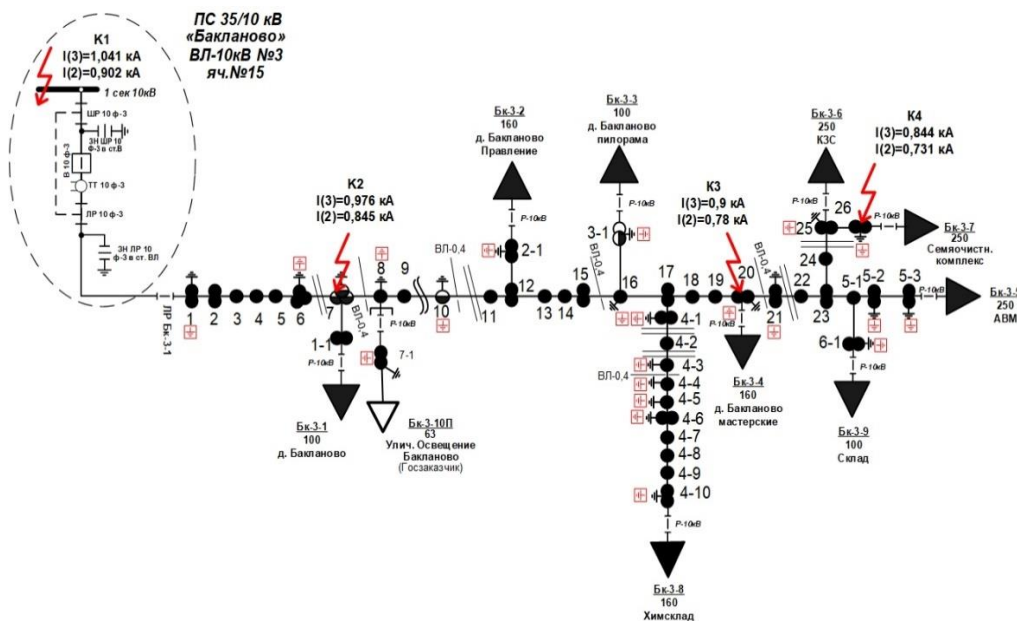


Рис.2. Схема ВЛ 10 кВ фидер №3 от подстанции 35/10 кВ «Бакланово».

Fig.2 - Scheme of 10 kV feeder 3 overhead from 35/10 kV substation «Baklanovo».

Исходя из этого для вакуумного выключателя ВВВ-10-400/4 коммутационный ресурс R_k следует принять равным 30 допустимым отключениям тока предельной коммутационной способности $I_{o\text{ ном}}$ 4 кА, при этом механический ресурс выключателя согласно техническим характеристикам [12] составляет 50000 коммутаций, а для маломасляного выключателя ВПМ-10-20/630, согласно инструкции по эксплуатации [13], коммутационный ресурс R_k равен 10 допустимым отключениям тока $I_{o\text{ ном}}$ 20 кА и 17 отключениям тока 12 кА при механическом ресурсе 2500 коммутаций.

В свою очередь, предполагаемый к замене выключатель типа ВВ/TEL-10-1000/20 был выпущен в соответствии с ГОСТ Р 52565-2006, в котором установлено допустимое число коммутаций, представленное в таблице 3.

Таблица 3

Допустимый коммутационный ресурс для высоковольтных выключателей, выпущенных в соответствии с ГОСТ 52565-2006

Виды выключателей	Допустимое число коммутаций при значениях тока $I_{o\text{ ном}}$, кА			
	До 31,5	40	50	53
Газовые	20	15	12	8
Вакуумные	25	20	18	10

В соответствии с данными таблицы 3 для высоковольтного выключателя ВВ/TEL-10-1000/20 с предельной отключающей способностью 20 кА следовало бы принять допустимое число коммутаций – 25, при этом в руководстве по эксплуатации выключателя [10] коммутационный ресурс задан 100 допустимыми коммутациями номинального тока отключения, а механический – 150000 коммутаций. Таким образом, данные значения коммутационного и механического ресурса для рассматриваемых высоковольтных выключателей позволят оценить расход коммутационного ресурса при коммутации токов нормальных и аварийных режимов в различных точках исследуемых сетей.

Результаты исследования

В настоящее время парк высоковольтных выключателей 10 кВ, установленных в распределительных устройствах подстанций с высшим напряжением 35-110 кВ филиала ПАО «Россети Центр»-«Орелэнерго» представлен 1833 коммутационными аппаратами, среди которых: 1197 выключателей с масляными дугогасительными камерами, а 636 выключателей – с вакуумными, - что составляет, соответственно, 65% и 35% парка.

На рисунке 3 представлены данные о типах применяемых в Орелэнерго вакуумных высоковольтных выключателей. Большая часть парка представлена 259-ю современными выключателями типа ВВ/TEL, которые составляют 41% от общего количества. Данные выключатели выпускает группа компаний ООО «Таврида Электрик», и они являются одним из рекомендованных к применению типов выключателей 10 кВ компанией ПАО «Россети» при сооружении и реконструкции подстанций [14]. Среди парка вакуумных выключателей

10 кВ современными являются только 498 из 636 единиц оборудования, что составляет 78% от общего количества.

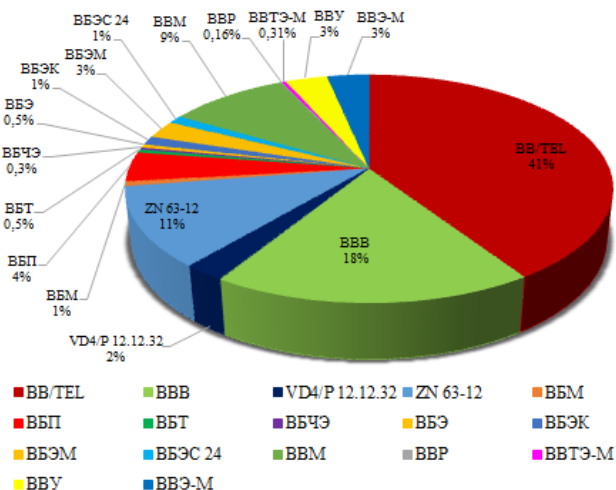


Рис. 3. Типы конструктивного исполнения вакуумных выключателей 10 кВ филиала ПАО «Россети Центр»-«Орелэнерго».

Fig. 3. Types of design design of vacuum circuit breakers of 10 kV branch of PJSC «Russian Grids Center»-«Orelenenergo».

На рисунке 4 представлены типы применяемых в Орёлэнерго маломасляных выключателей 10 кВ.

Так, наибольшая часть парка представлена следующими типами высоковольтных выключателей: 29% - 344 горшковых маломасляных выключателя типа ВМГ, 24% - 283 выключателя типа ВК, 15% - 184 выключателя типа ВМПП.

Согласно пункту 7.13 «СТО 56947007-29.240.10.248-2017. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС). Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС» при сооружении и реконструкции подстанций в распределительном устройстве должны планироваться к установке вакуумные выключатели. Таким образом, доля современного оборудования парка высоковольтных выключателей 10 кВ филиала ПАО «Россети Центр»-«Орелэнерго», которая при 498 современных вакуумных выключателях 10 кВ из 636 и общем количестве маломасляных выключателей 1183 составит 27%.

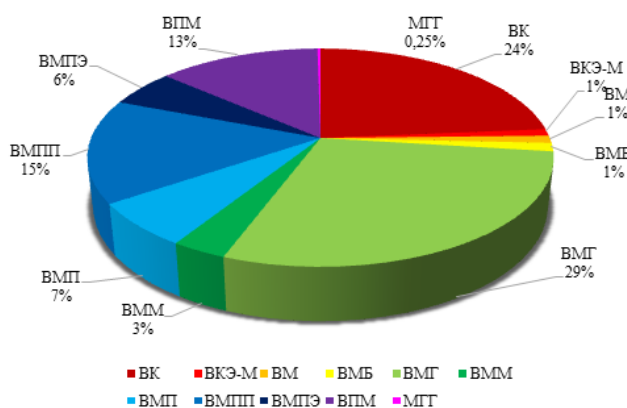


Рис. 4. Типы конструктивного исполнения маломасляных выключателей 10 кВ филиала ПАО «Россети Центр»-«Орелэнерго».

Fig. 4. Types of structural design of low-oil switches of 10kV branch of PJSC «Russian Grids Center»-«Orelenenergo».

В результате анализа технического состояния высоковольтных вакуумных и маломасляных выключателей 10 кВ филиала ПАО «Россети Центр»-«Орелэнерго» было выявлено, что 1175 выключателей парка имеют очень хорошее техническое состояние, характеризующееся индексом технического состояния равным или превышающем 85%. В хорошем техническом состоянии с индексом в диапазоне 70-85% находятся 587 выключателей, составляющие 32% парка. При этом 70 высоковольтных выключателей 10 кВ находятся удовлетворительном техническом состоянии с индексом 50-70%, формирующим 4% от общего парка. Один высоковольтный выключатель типа ВПМ-10-

20/6300, установленный на подстанции 35/10 кВ «Судбищи» в 1964 году, находится в неудовлетворительном техническом состоянии с индексом 41%, что требует в ближайшее время реализации мероприятий по техническому ремонту выключателя, либо его замене на современный вакуумный выключатель.

В ходе анализа сроков службы высоковольтных выключателей 10 кВ филиала ПАО «Россети Центр»-«Орелэнерго» было выявлено, что срок эксплуатации, не превышающий срок среднего ремонта в 12 лет, не превысили 340 выключателей, что составляет 18% парка. При этом наименьший срок эксплуатации имеет вакуумный высоковольтный выключатель типа ВВ/TEL-10-20/630, установленный на подстанции 110/10 кВ «Речица» в 2021 году. Срок эксплуатации от 12 лет до 30 лет имеют 487 высоковольтных выключателей, что составляет 27% парка. Сроком эксплуатации, превысившем нормативный срок службы в 30 лет, характеризуются 1006 выключателей, что составляет 55% парка. Наибольший срок эксплуатации, составляющий 63 года, имеют 2 выключателя типа ВМБ-10-200-5,8, установленные на подстанции 35/10 кВ «Тросна» в 1958 году.

На рисунке 5 представлен анализ номинальных токов высоковольтных выключателей 10 кВ филиала ПАО «Россети Центр»-«Орелэнерго». Было выявлено, что 1009 коммутационных аппаратов имеют номинальный ток 630 А, а 366 коммутационных аппаратов – 1000 А, в совокупности, составляющие 75% парка высоковольтных выключателей.

При этом в парке высоковольтных выключателей 10 кВ филиала ПАО «Россети Центр»-«Орелэнерго» имеется 110 выключателей с номинальными токами 320 А, 600 А, 3000 А и 3200 А, составляющих 6% парка. Они не соответствуют ряду номинальных токов согласно ГОСТ Р 52565-2006.

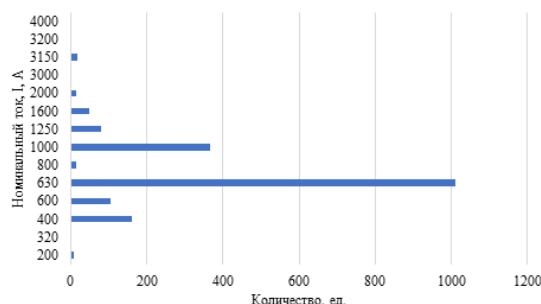


Рис. 5 Номинальные токи выключателей 10 кВ филиала ПАО «Россети Центр»-«Орелэнерго».

Fig. 5 Nominal currents of 10 kV switches of the branch of PJSC «Russian Center» -«Orelenenergo».

На рисунке 6 представлен анализ номинальных токов отключения парка высоковольтных выключателей филиала ПАО «Россети Центр»-«Орелэнерго». Большая часть парка высоковольтных выключателей в количестве 1526 единиц имеет номинальный ток отключения 20 кА, что составляет 83% от общего количества.

В парке высоковольтных выключателей 10 кВ филиала ПАО «Россети Центр»-«Орелэнерго» имеется 59 коммутационных аппаратов с номинальными токами отключения 2 кА, 5,8 кА, 9,7 кА 43,5 кА, 45 кА (3% парка), которые не соответствуют современным значениям номинальных токов производимых в настоящее время выключателей согласно ГОСТ Р 52565-2006.

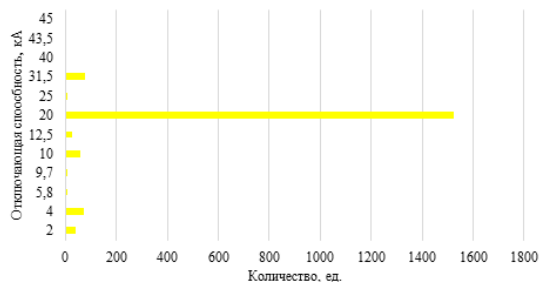


Рис. 6. Предельная отключающая способность выключателей 10 кВ филиала ПАО «Россети Центр»-«Орелэнерго».

Fig. 6. The maximum deactivation of 10 kV switches of the branch of PJSC «Russian Grids Center»-«Orelenenergo».

Произведем оценку остаточного ресурса маломасляного высоковольтного выключателя ВМП-10-20/630 с номинальным током 630 А и отключающей способностью 20 кА, установленного на отходящей линии 10 кВ (фидер №2) от подстанции 35/10 кВ

«Росстани», а также современного вакуумного выключателя ВВ/TEL-10-1000/20 с номинальным током 1000 А и отключающей способностью 20 кА по формулам (1-3) в соответствии с рассмотренной в работе [9] методикой.

Исходя из проведенных расчетов, можно произвести сравнение данных выключателей при коммутации диапазона токов разных значений, характерных для сети, питаемой от ПС «Бакланово». Зависимость допустимого числа отключений для выключателей ВВ/TEL-10-1000/20 и ВМП-10-20/630 с отключающими способностями 20 кА $I_{о\text{ ном}}$ при симметричных и несимметричных коротких замыканиях разных значений токов до номинального тока отключения представлена на рисунке 7.

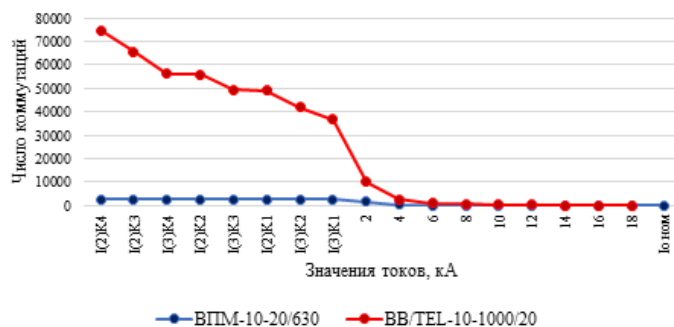


Рис. 7 Допустимое число коммутаций для выключателей ВВ/TEL-10-1000/20 и ВМП-10-20/630 с отключающей способностью 20 кА.

Fig. 7 Permissible number of switches for BB/TEL-10-1000/20 and WMP-10-20/630 circuit breakers with 20 kA deactivation ability.

Полученные зависимости, представленные на рисунке 7, позволяют сделать вывод, что при возникновении на рассматриваемой линии симметричных и несимметричных замыканий выключатель ВМП-10-20/630 сможет осуществить до 2500 коммутаций, а ВВ/TEL-10-1000/20 – от 36911 до 74856 коммутаций в зависимости от точки короткого замыкания и ее удаленности от секции шин 10 кВ, вблизи которых значения токов КЗ максимально. В свою очередь, при номинальном токе отключения 20 кА устаревший маломасляный выключатель ВМП-10-20/630 сможет осуществить 10 коммутаций, а современный вакуумный – 100 коммутаций. Данные соотношения позволяют выявить преимущества изготавливаемой в настоящее время современной вакуумной коммутационной техники.

Следует отметить, что в расчете допустимого числа коммутаций было учтено, что у выключателя ВМП-10-20/630 при коммутируемых токах до 60% $I_{о\text{ ном}}$ ресурс составляет 17 допустимых коммутаций предельной отключающей способности 20 кА, а свыше 60% $I_{о\text{ ном}}$ – 10 коммутаций.

Аналогично можно оценить расход коммутационного ресурса выключателей ВВ/TEL-10-1000/2 и ВВВ-10-400/4 при отключении токов от значений аварийных режимов, возникающих на ВЛ 10 кВ (фидер №2), отходящей от подстанции 35/10 кВ «Росстани», до предельных отключающих способностей выключателей.

Расход коммутационного ресурса (сработанный ресурс) рассматриваемых выключателей при коммутации значений токов от симметричных и несимметричных коротких замыканий в других точках ВЛ 10 кВ фидера №2 от подстанции 35/10 кВ «Росстани» и до значений предельных отключающих способностей выключателей 4 кА и 20 кА представлен на рисунке 8.

Так, при коммутации тока двухфазного короткого замыкания в точке К4 со значением 0,3 кА коммутационный ресурс выключателя ВВ/TEL-10-1000/20 составляет более 440000 коммутаций. Данное расчетное значение с учетом механического ресурса выключателя ограничивается значением 150000 циклами отключения. При этом для аналогичной точки возникновения замыкания устаревший вакуумный выключатель типа ВВВ-10-400/4 с предельной отключающей способностью 4 кА способен произвести 5333 коммутации.

В свою очередь, для рассматриваемых точек короткого замыкания допустимое число коммутаций устаревшего вакуумного выключателя ВВВ-10-400/4 от 178 до 5333, а у современного вакуумного выключателя ВВ/TEL-10-1000/20 – от 14854 до 150000. При этом у устаревшего вакуумного выключателя ВВВ-10-400/4 при коммутации токов аварийных режимов в рассматриваемых точках будет расходоваться 0,006 относительных единиц (о.е.)

о.е. до 0,168 о.е. коммутационного ресурса, а у современного вакуумного выключателя ВВ/TEL-10-1000/20 - от 0,001 о.е. до 0,007 о.е. коммутационного ресурса.

При этом при коммутации предельной коммутационной способности у устаревшего вакуумного выключателя ВВВ-10-400/4 допускается 30 коммутаций при каждой из которых будет расходоваться 1 о.е. коммутационного ресурса, а современного вакуумного выключателя ВВ/TEL-10-1000/20 с предельной коммутационной способностью 20 кА при коммутации тока 4 кА допускает производство 2500 отключений при каждом из которых будет расходоваться 0,04 о.е. коммутационного ресурса.

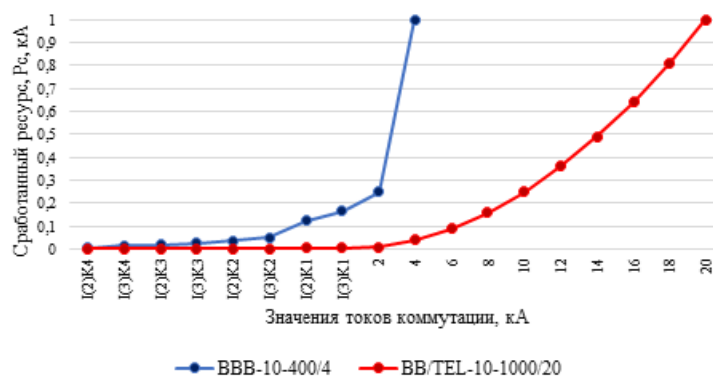


Рис. 8. Зависимость сработавшего ресурса от токов коммутации для выключателей ВВВ-10-400/4 и ВВ/TEL-10-1000/20 с отключающими способностями $I_{о\text{ ном}}$ 4 кА и 20 кА.

Fig. 8. Switching current dependency for ВВВ-10-400/4 and ВВ/TEL-10-1000/20 circuit breakers with $I_{о\text{ ном}}$ 4 kA and 20 kA.

Таким образом, для выключателя ВВ/TEL-10-1000/20 при его установке на ВЛ 10 кВ фидере №2 от подстанции ре №2 от подстанции 35/10 кВ «Росстани» можно выделить 3 диапазона расхода коммутационного ресурса: от нуля до точки $I_{(3)К1}$ со значением 1,641 кА где не происходит расходование коммутационного ресурса; зона неустойчивого горения дуги в диапазоне от точки $I_{(3)К1}$ со значением 1,641 кА до 2 кА с практически линейной зависимостью ресурса от тока; диапазон от 2 кА до отключающей способности выключателя 20 кА, характеризующийся выраженной нелинейной зависимостью в соответствии с предложенным методом.

Заключение или Выводы (Conclusions)

1. В работе был произведен анализ парка высоковольтных выключателей 10 кВ, установленных в распределительных устройствах подстанций с высшим напряжением 35-110 кВ в филиале ПАО «Россети Центр»-«Орелэнерго», в ходе которого было выявлено, что среди 1833 коммутационных аппаратов 1197 выключателей с масляными дугогасительными камерами, а 636 выключателей – с вакуумными, - что составляет, соответственно, 65% и 35% парка. При этом доля современных вакуумных выключателей составляет 27%. Чаще всего (1009 выключателей) имеют номинальный ток 630 А, а также (366 выключателей) – 1000 А. Порядка 83% парка высоковольтных выключателей имеют номинальный ток отключения 20 кА. Полученные технические характеристики позволяют сформировать концепции техперевооружения парка высоковольтных выключателей 10 кВ филиала ПАО «Россети Центр»-«Орелэнерго».

2. В ходе сравнения расхода коммутационного ресурса и допустимого числа коммутаций устаревшего маломасляного выключателя ВМП-10-20/630 и устаревшего вакуумного выключателя ВВВ-10-400/4 с современным вакуумным выключателем ВВ/TEL-10-1000/20 было выявлено, что при коммутации токов коротких замыканий в рассматриваемых линиях современным выключатель ВВ/TEL-10-1000/20 по сравнению с устаревшим выключателем ВМП-10-20/630 может осуществить от 36911 до 74856 коммутаций при максимальном количестве 2500 у устаревшего выключателя. В свою очередь, современный вакуумный выключатель ВВ/TEL-10-1000/20 по сравнению с устаревшим вакуумным выключателем ВВВ-10-400/4 при коммутации токов аварийных режимов расходует от 0,001 о.е. до 0,007 о.е. коммутационного ресурса, при 0,006 о.е. до 0,168 о.е. у устаревшего выключателя. Полученные характеристики позволяют выявить значительное преимущества изготавливаемой в настоящее время вакуумной коммутационной техники.

3. Таким образом, инвестиционная программа филиала ПАО «Россети Центр»-«Орелэнерго» в части техперевооружения устаревших вакуумных выключателей 10 кВ

может быть направлена на приобретение современных вакуумных выключателей отечественного производства ВВ/TEL-10-630/20 и ВВ/TEL-10-1000/20 с номинальными токами 630 А и 1000 А и предельной отключающей способностью 20 кА, или их аналогов. Это позволит повысить надежность и эффективность функционирования электросетевого комплекса в Орловской области.

Литература

1. Seung-Bok Choi, Fauziah Shahul Hamid and Liyuan Han. Research on High Voltage Circuit Breaker Mechanical Faults Online Monitoring // Applied Mechanics and Materials. 2014. Volume 521, pp. 362-365. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.521.362>.
2. Guishu Liang, Hejin Yuan, and Baoshu Li. A Fault Diagnosis Method of High Voltage Circuit Breaker Based on Moving Contact Motion Trajectory and ELM // Mathematical Problems in Engineering. 2016.
3. Yang Z.-Z., Xu J.-Y., Li B., Liu Y. Design of monitoring system for mechanical status of high voltage vacuum circuit breaker // High Voltage Apparatus. 2013. V. 49, no. 8, pp. 26–34.
4. Chen J., Hu Z., Su X. Key technology design to on-line monitoring of mechanical characteristics for intelligent vacuum circuit breaker // High Voltage Apparatus. 2014. V. 50, No. 4, pp. 108–112.
5. Tahir Midhat Lazimov, Samir Ali Huseyn Akhundov. Research on Influence of High-Voltage Circuit Breakers' Characteristics on Switching Overvoltages and Overcurrents. Conference: Third International Conference on Electrical and Electronics Engineering, ELECO-2003At: Bursa, Turkey. DOI:10.13140/RG.2.1.4216.7205.
6. Андреев Д.А., Назарычев И.А. Анализ методов оценки коммутационного ресурса высоковольтных выключателей // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. № 2. 2008. С. 69-84.
7. Балаков Ю.Н., Шунтов А.В. О фактическом коммутационном ресурсе выключателей // Энергобезопасность и энергосбережение. №6. 2009. С. 35-38.
8. Муссонов Г.П., Снопкова Н.Ю., Гаврилов А.В. Учет величины коммутируемого тока для определения остаточного коммутационного ресурса высоковольтных выключателей // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. №12 (95). С. 205-210.
9. Виноградов А.В., Бородин М.В., Лансберг А.А., Псарев А.И., Сорокин Н.С. Анализ типов высоковольтных коммутационных аппаратов и оценка остаточного ресурса выключателей, установленных на подстанциях с высшим напряжением 35-110 кВ филиала ПАО «МРСК Центра»-«Орелэнерго» // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. №1 (49). С. 118-127.
10. ВВ/TEL. Вакуумный выключатель. Руководство по эксплуатации. Доступно по: https://www.tavrida.com/upload/iblock/1db/ter_vcb15_booklet.pdf. Ссылка активна на 11.12.2021.
11. Виноградов А.В., Капитонов А.И., Лансберг А.А., Сорокин Н.С., Фомин И.Н. Определение токов коротких замыканий в сельской электрической сети 10 кВ, секционированной реклоузерами для осуществления дистанционного контроля их срабатывания // Вестник аграрной науки Дона. 2021. № 1 (53). С. 34-43.
12. ВВВ-10-2/320У2. Электрические сети. Доступно по: <https://leg.co.ua/info/vyklyuchateli/vvv-10-2/320u2.html>. Ссылка активна на: 12.12.2021.
13. Эксплуатация выключателей ВПМ-10. Электрические Сети. Служба подстанций. Доступно по: <https://www.ruscable.ru/doc/documentation/instruction-32.html>. Ссылка активна на: 05.12.2021.
14. Раздел I. Первичное оборудование, материалы и системы, допущенные к применению на объектах ПАО «Россети» на 04.09.2020. Доступно по: http://www.rosseti.ru/investment/science/attestation/doc/razdel_I_04.09.2020.pdf. Ссылка активна на: 29.09.2020.

Авторы публикации

Виноградов Александр Владимирович – д-р техн. наук, доцент, заведующий лабораторией электроснабжения и теплообеспечения ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ».

Лансберг Александр Александрович – инженер отдела энергосбережения и повышения энергоэффективности филиала ПАО «Россети Центр»-«Орелэнерго».

References

1. Seung-Bok Choi, Fauziah Shahul Hamid and Liyuan Han. *Research on High Voltage Circuit Breaker Mechanical Faults Online Monitoring*. Applied Mechanics and Materials. 2014. Volume 521, pp. 362-365. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.521.362>.
2. Guishu Liang, Hejin Yuan, and Baoshu Li. *A Fault Diagnosis Method of High Voltage Circuit Breaker Based on Moving Contact Motion Trajectory and ELM*. Mathematical Problems in Engineering. 2016.
3. Yang Z.-Z., Xu J.-Y., Li B., Liu Y. *Design of monitoring system for mechanical status of high voltage vacuum circuit breaker*. High Voltage Apparatus. 2013. V. 49, no. 8, pp. 26–34.
4. Chen J., Hu Z., Su X. *Key technology design to on-line monitoring of mechanical characteristics for intelligent vacuum circuit breaker*. High Voltage Apparatus. 2014;50(4):108–112.
5. Tahir Midhat Lazimov, Samir Ali Huseyn Akhundov. *Research on Influence of High-Voltage Circuit Breakers' Characteristics on Switching Overvoltages and Overcurrents*. Conference: Third International Conference on Electrical and Electronics Engineering, ELECO-2003At: Bursa, Turkey. doi:10.13140/RG.2.1.4216.7205.
6. Andreev D.A., Nazarychev I.A. Analysis of methods for estimating the switching resource of high-voltage switches. *Bulletin of the Ivanovo State Power Engineering University*. 2008;2:69-84.
7. Balakov Yu.N., Shuntov A.V. On the actual switching resource of switches. *Energy security and energy conservation*. 2009;6:35-38.
8. Monsonov G.P., Snopkova N.Yu., Gavrilov A.V. Taking into account the magnitude of the switched current to determine the residual switching resource of high-voltage switches. *Bulletin of Irkutsk State Technical University*. 2014;12 (95):205-210.
9. Vinogradov A.V., Borodin M.V., Lansberg A.A., Psarev A.I., Sorokin N.S. Analysis of types of high-voltage switching devices and evaluation of the residual life of switches installed at substations with a higher voltage of 35-110 kV of the branch of PJSC IDGC of Centre-Orelenergo. *Bulletin of the Kazan State Energy University*. 2021;13:1 (49):118-127.
10. BB/TEL. Vacuum circuit breaker. Operation manual. Available at: https://www.tavrida.com/upload/iblock/1db/ter_vcb15_booklet.pdf. Accessed: 11.12.2021.
11. Vinogradov A.V., Kapitonov A.I., Lansberg A.A., Sorokin N.S., Fomin I.N. Determination of short-circuit currents in a rural 10 kV electrical network sectioned by reclosers for remote monitoring of their operation. *Bulletin of Agrarian Science of the Don*. 2021;1 (53):34-43.
12. BBB-10-2/320 U2. Electrical networks. Available at: <https://leg.co.ua/info/vyklyuchateli/vvv-10-2/320u2.html>. Accessed: 12.12.2021.
13. Operation of VPM-10 switches. Electrical Networks. Substation service. Available at: <https://www.ruscable.ru/doc/documentation/instruction-32.html>. Accessed: 05.12.2021.
14. Section I. Primary equipment, materials and systems approved for use at the facilities of PJSC ROSSETI on 04.09.2020. Available at: http://www.rosseti.ru/investment/science/attestation/doc/razdel_I_04.09.2020.pdf. Accessed: 09.09.2020.

Authors of the publication

Alexander V. Vinogradov – Federal Scientific Agroengineering Center VIM.

Alexander A. Lansberg – the branch of PJSC Rosseti Center-Orelenergo.

Получено 30.08.2022г.

Отредактировано 14.09.2022г.

Принято 21.09.2022г.